

**ПЕРСПЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ МАХОВИЧНОГО ПРИВОДА
ШТАМПУВАЛЬНОГО КРИВОШИПНОГО УСТАТКУВАННЯ ЗІ
СКЛАДЕНИМ ПРУЖНИМ МАХОВИКОМ**

В.С. Запорожченко, канд. техн. наук, доцент;

А.В. Запорожченко, студентка,

Сумський державний університет, м. Суми

Статтю присвячено вдосконаленню конструкції складеного маховика з пружними елементами у приводі штампувального кривошипного устаткування і розгляду перспектив роботи такого удосконаленого приводу кривошипних машин.

Ключові слова: штампувальне устаткування, кривошипний прес, кривошипна машина, маховичний привод, складений пружний маховик, витий маховик, гнучкий елемент, стрічка, дріт, волокно, пружний елемент.

Статья посвящена усовершенствованию конструкции составного маховика с упругими элементами в приводе штамповочного кривошипного оборудования и рассмотрению перспектив работы такого усовершенствованного привода кривошипных машин.

Ключевые слова: штамповочное оборудование, кривошипный пресс, кривошипная машина, маховичный привод, составной упругий маховик, витой маховик, гибкий элемент, лента, проволока, волокно, упругий элемент.

ВСТУП

Обробка металів тиском (ОМТ) належить до найбільш поширення та ефективних процесів матеріалобробки, які ґрунтуються на пластичній деформації (прокатка, пресування, волочіння, кування, об'ємне та листове штампування) або на крихкому руйнуванні (вирубання, відрізання, пробивання, надсікання) металевих чи неметалевих матеріалів. Значення ОМТ у народному господарстві нашої країни надзвичайно велике, оскільки цими способами виготовляються найбільш важливі та навантажені деталі ракет, супутників, літаків, турбін, атомних та хімічних реакторів і дешеві та високоякісні вироби масового використання, наприклад, корпуси комп'ютерів, процесорів, транзисторів і реле, надпровідний дріт, сталеві труби, холодильники, металевий посуд, болти, гвинти, гайки, шайби та ін. [1]. Практично кожне промислове підприємство, яке випускає металеву продукцію, має у своєму складі цех або ділянку для ОМТ з відповідним устаткуванням та інструментом.

Найбільш поширеним устаткуванням для ОМТ є кривошипні преси вертикального типу, кривошипні машини горизонтального типу і ковальсько-штампувальні автомати з кривошипним, ексцентриковим чи кулачковим приводом. Перелічене устаткування становить близько 60% усього парку технологічного обладнання. Кривошипні преси, машини та автомати характеризуються високою продуктивністю, коли кількість подвійних ходів повзуна досягає 300 за хвилину, надійністю у роботі, значним коефіцієнтом корисної дії, добрими економічними, ергономічними й екологічними показниками [2]. Тому поліпшення конструкції цього класу технологічних машин є актуальним та науково доцільним завданням.

Сучасне кривошипне устаткування звичайно складається зі станини, основного приводу, головного виконавчого механізму і допоміжних пристроїв (механізм регулювання закритої висоти, висувний або під'ємний стіл, регульовані упори з окремим приводом тощо). Основний привод призначений для приведення кривошипної машини у дію і

складається з трифазного асинхронного електродвигуна змінного струму, клинопасової передачі, монолітного (суцільного) маховика, фрикційних муфти та гальма, однієї чи кількох зубчастих передач і приймального та проміжних валів. Технологічні процеси ОМТ визначаються великими зусиллями та значними витратами енергії, які нерівномірно розподілені у часі: при робочому ході і виконанні технологічної операції досягають максимальних величин, а при холостому ході й паузі у роботі зменшуються у десятки разів. Для вирівнювання навантаження приводу кривошипних машин у ньому передбачений акумулятор кінетичної енергії у вигляді маховика, встановленого на приймальному валу кривошипної машини і зв'язаного клинопасовою передачею з асинхронним електродвигуном. Це дозволяє в 6–10 разів зменшити установчу потужність електричного двигуна.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Найбільш недосконалою ланкою у приводі сучасної кривошипної машини є саме маховик, принципова конструкція якого не змінювалася більше 100 років з часів виготовлення у 1893 році першої кривошипної горизонтально-кувальної машини (ГКМ) американською фірмою «National Machinery Co» [3]. Змінювалися конструктивні елементи у вигляді форми обода зі спицями, конфігурації дискової частини, наявності ребер жорсткості, але маховик завжди залишався круглою деталлю, виготовленою із суцільного металу. Традиційно маховик отримують способом лиття з чавуну або сталі з канавками на зовнішній циліндричній поверхні під клинові паси клинопасової передачі. Кількість обертів маховика обмежена через можливість його розриву, коли лінійна швидкість крайніх точок обода перевищує допустимі значення. Для чавунних маховиків величина критичної швидкості становить 15 м/с, а для сталевих – 25 м/с. Тому кількість обертів маховика не перевищує 400–450 за хвилину [4], і доводиться збільшувати момент інерції та масу маховика для зростання запасу його кінетичної енергії.

За цей час конструкція електричного двигуна і склад його електроізоляційних матеріалів постійно удосконалювалися [5]. Так, асинхронні електродвигуни змінного струму випускалися все більш досконалими серіями: першою А, другою 2А, четвертою 4А із постійною частотою обертання або багатошвидкісні. Для приводу кривошипного устаткування почали застосовуватися двигуни постійного струму, які дозволяють плавно регулювати кількість подвійних ходів повзуна кривошипного устаткування у широких межах, але їх тиристорний привод коштує набагато дорожче асинхронного електродвигуна. Перспективним є використання синхронних електричних двигунів з підвищеними коефіцієнтами корисної дії (ККД) та потужності $\cos \phi$, які можуть навіть працювати зі струмом, що випереджає напругу за фазою. Це підвищує коефіцієнт потужності $\cos \phi$ усієї ділянки технологічного обладнання [6]. Але такі двигуни мають постійну (синхронну) частоту обертання вала, а суцільний маховик за принципом своєї роботи обертається нерівномірно – пригальмовується при робочому ході і розганяється під час пауз у роботі. Без зміни конструкції та принципу роботи останнього їх ставити разом на одному валу не можна.

Тому необхідна принципова зміна конструкції маховика для розміщення його разом з синхронним електричним двигуном з метою економії електричної енергії, підвищення енергетичних показників кожної кривошипної машини окремо та всього штампувального цеха у цілому. У даний час економічної та енергетичної світової кризи таке завдання є надзвичайно актуальним.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

У Кіровоградському національному технічному університеті почато [7], а в Сумському державному університеті продовжено науково-пошукову роботу, спрямовану на поліпшення конструкції маховичного привода штампувального кривошипного устаткування. У цьому напрямку розроблено понад 20 проектів безмуфтового привода кривошипних машин [8], виготовлено діючу модель безмуфтового преса з круговим шатуном і запатентованою системою вмикання [9], запропоновано виготовляти маховик не суцільним, а витим зі стрічки, дроту чи волокон [10] або складеним з жорсткої та пружної частин [11].

В останньому випадку привод кривошипного устаткування (преса, машини, автомата) складається з трифазного синхронного електричного двигуна 1 змінного струму (рис. 1), з'єднувальної муфти 2, складеного маховика 3, розміщеного між ведучою 4 та веденою 5 частинами приймального вала, розміщеного у підшипникових вузлах 6, а також зубчастої передачі, що вміщує шестерню 7 й зубчасте колесо 8.

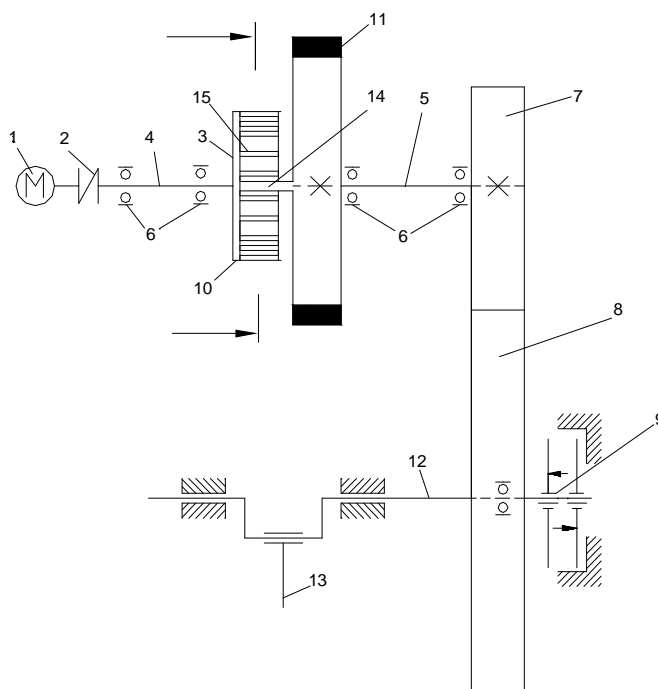


Рисунок 1 – Кінематична схема привода кривошипної машини зі складеним пружним маховиком

У зубчасте колесо вмонтовано систему 9 вмикання кривошипної машини, що звичайно складається з фрикційної муфти та гальма. Ведуча частина 4 приймального вала за допомогою з'єднувальної муфти 2 з'єднує встановлені співвісно вал електродвигуна 1 й ведучий стакан 10 складеного маховика 3, що компенсує їх взаємний перекид, а також оберігає електричний двигун від надмірного крутного моменту. Ведена частина 5 приймального вала з'єднує дискову частину 11 складеного маховика 3 з шестернею 7. Зубчасте колесо 8 встановлено на кривошипному валу 12, який зв'язано шатуном 13 з повзуном (на кінематичній схемі привода останній умовно не зображено).

Ведучий стакан 10 закріплено на ведучій частині 4 приймального вала будь-яким відомим способом (за допомогою шпонки, шліців,

запресування і т.п.). Внутрішня поверхня ведучого стакану 10 і зовнішня поверхня ступиці 14 складеного маховика 3 з'єднані між собою пружним елементом 15, за який використовується гнучка стрічка 15, пружини 16 або суцільний диск 17 з пружного матеріалу (рис. 2). При першому варіанті виконання пружного елемента одні кінці вигнутих у спіраль відрізків гнучкої стрічки 15 закріплені на зовнішній поверхні маточини 14 складеного маховика 3, а інші кінці – на внутрішній поверхні ведучого стакану 10, причому товщина мотка стрічки менша за відстань від зовнішньої поверхні маточини 14 до внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 (рис. 3). Відрізки гнучкої стрічки закріплені на маточині 14 та у стакані 10 симетрично на рівній відстані один від одного. При цьому моток складається з довільної кількості вигнутих у спіраль відрізків гнучкої стрічки; їх кількість залежить від потрібного крутного моменту на валу, кутової швидкості обертання складеного маховика 3, який розміщено у захисному кожусі (на рисунках умовно не зображений) та умов роботи кривошипного устаткування.

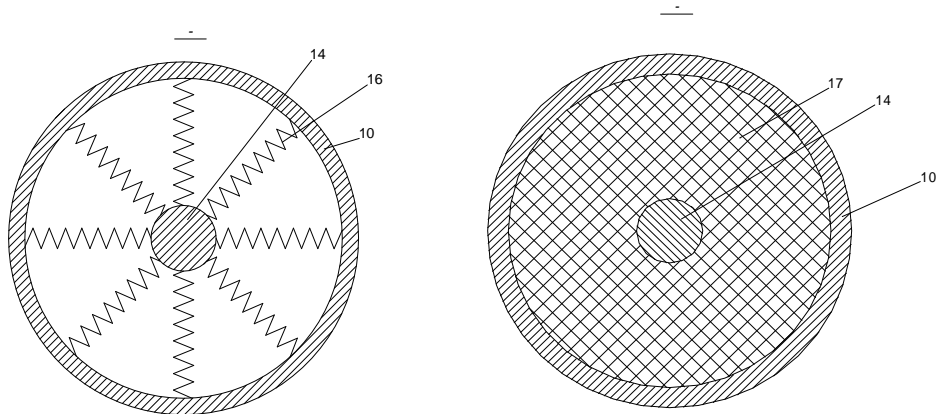


Рисунок 2 – Варіанти виконання складеного маховика з радіальними пружинами та пружним елементом

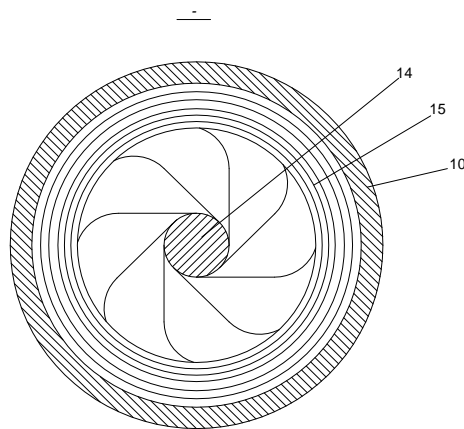


Рисунок 3 – Переріз по А-А складеного маховика при вмиканні кривошипної машини або після вимкання електродвигуна

Використання високоміцної гнучкої стрічки, дроту або волокна зумовлене тим, що максимальну міцність метал має саме у вигляді заготовок з мінімальним поперечним перерізом: лист, стрічка, дріт,

волокно тощо. Стрічка чи дріт завдяки їх внутрішній структурі, яка утворена холодним прокатуванням або волочінням, мають міцність значно вищу від міцності початкового монолітного матеріалу. Наприклад, монолітний метал зі сталі 45 має межу міцності при розтяганні 580 МПа, а стрічка товщиною 1 – 4 мм, яку виготовлено з того самого металу, – до 700 МПа. Межа міцності дроту зі сталі 45 досягає 1100 МПа [1].

При виготовленні пружного елемента у вигляді пружин 16, радіально розміщених між внутрішньою поверхнею ведучого стакану 10 і зовнішньою поверхнею маточини 14 складеного маховика 3 (див. рис. 2), пружини одним торцем кріпляться до поверхні ведучого стакану 10, а іншим – до поверхні маточини 14 складеного маховика 3. Пружини достатньої жорсткості можуть бути як класу стискання, так і класу розтягання. Можливо використання також пластинчастих пружин згину, ресор, кільцевих та призматичних пружин.

Якщо пружний елемент виконано у вигляді суцільного диска 17 з отвором у центрі, то своєю центральною частиною він закріплений на зовнішній поверхні маточини 14, а периферійною боковою поверхнею – на внутрішній поверхні ведучого стакану 10 складеного маховика 3. Диск може бути виготовлено з гуми, поліуретану чи іншого достатньо пружного матеріалу.

Кріплення пружного елемента до зовнішньої поверхні маточини 14 чи внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 виконується за допомогою клею, клепок, гвинтів, зварювання залежно від матеріалу пружного елемента.

Привод кривошипного преса працює так.

Від синхронного електричного двигуна 1 через з'єднувальну муфту 2 обертання передається на стакан 10, розміщений на ведучій частині 4 приймального вала. Перед вмиканням електродвигуна привода уся гнучка стрічка 15 складеного маховика 3 є намотаною на внутрішній поверхні ведучого стакану 10 як у найбільш стійкому положенні (рис. 3). При обертанні останнього за рахунок натягнення гілок стрічки 15 починає обертатися і розганятися маточина 14 разом з дисковою частиною 11 складеного маховика 3. При цьому стрічка змотується із внутрішньої поверхні ведучого стакану 10 і намотується на зовнішню поверхню маточини 14. Після розгону дискова частина 11 маховика починає обертатися з такою самою швидкістю, що й ведучий стакан 10, при приблизно рівній кількості намотаних витків стрічки 15 на внутрішній поверхні ведучого стакану 10 і на зовнішній поверхні маточини 14 (рис. 4).

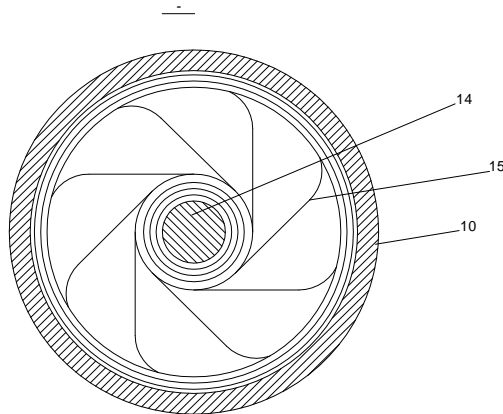


Рисунок 4 – Переріз по А-А складеного маховика після його розгону і при сталому режимі роботи привода кривошипної машини

Через ведену частину 5 приймального вала обертання дискової частини 11 маховика 3 передається шестерні 7, яка знаходиться у зачепленні із зубчастим колесом 8, вільно встановленим на головному валу 12. При вмиканні муфти відбувається з'єднання зубчастого колеса 8 з головним валом 12, останній починає обертатися і через шатун 13 приводить повзун у зворотно-поступальний рух. При робочому ході, коли опір заготовки різко зростає, швидкість обертання головного вала починає зменшуватися, хоча швидкість обертання синхронного двигуна залишається незмінною. Інерція маховика 3 намагається підтримати швидкість обертання головного вала 12 сталою. При цьому дискова частина 11 маховика 3 пригальмовується, віддає частину своєї кінетичної енергії і допомагає двигуну 1 подолати збільшений опір переміщенню повзуна вниз.

Таким чином, корисна робота деформації металу здійснюється пресом не тільки за рахунок роботи електричного двигуна у цей час, але також за рахунок частини кінетичної енергії, накопиченої маховиком у період холостого ходу і відданої при робочому ході повзуна преса. Маховик згладжує піки навантаження, які виникають під час штампування, що значно полегшує умови роботи електродвигуна. При цьому ротор синхронного двигуна обертається зі сталою синхронною швидкістю і не гальмується, оскільки дискова частина 11 складеного маховика 3 сполучена з електродвигуном 1 не жорстко, а через пружний елемент, виконаний у вигляді гнучких стрічок 15, пружин 16 або суцільного пружного диска 17. Під час виконання робочого ходу ведучий стакан 10 обертається з більшою швидкістю, ніж маточина 14, виконана разом з дисковою частиною 11 маховика 3, тому відрізки гнучкої стрічки навиваються на маточину (рис 5).

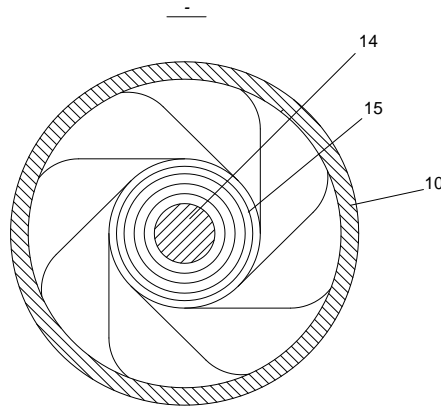


Рисунок 5 – Переріз по А-А складеного маховика під час робочого ходу повзуна кривошипної машини

При вимиканні муфти відбувається від'єднання зубчастого колеса 8 від головного вала 12 і одночасне гальмування гальмом обертання кривошипного вала, а також інших ведених деталей привода. У цей час стрічка 15, звільняючись від навантаження, розкручується і розганяє дискову частину 11 складеного маховика 3 до сталої швидкості ведучого стакана 10 (див. рис. 4). Цим відновлюється запас кінетичної енергії, відданої дисковою частиною маховика під час робочого ходу, на виконання технологічної операції. Під час вистоювання повзуна у крайньому верхньому положенні і його холостого ходу вниз складений маховик 3 обертається з номінальною швидкістю синхронного електричного двигуна 1.

Після вимикання двигуна 1 маточина 14, виконана як одне ціле з дисковою частиною 11 складеного маховика 3, за рахунок великого моменту інерції та довшого обертання за інерцією штовхає гілки стрічки 15 і навиває її на внутрішню поверхню стакана 10 (див. рис. 3).

У випадку виконання пружного елемента у вигляді пружин останні під час виконання робочого ходу розтягуються і забезпечують пригальмовування дискової частини 11 складеного маховика 3 відносно його ведучого стакана 10, а під час виконання холостого ходу стискаються і відновлюють кругову швидкість дискової частини 11.

Якщо пружний елемент виконано у вигляді суцільного диска, то під час виконання робочого ходу преса він пружно деформується і забезпечує пригальмовування дискової частини 11 складеного маховика 3 відносно його ведучого стакана 10, а під час виконання холостого ходу відновлює свою початкову форму і розганяє дискову частину 11 до початкової швидкості за рахунок своєї внутрішньої потенціальної енергії.

ВИСНОВКИ

Використання описаного привода кривошипного устаткування завдяки принциповій зміні конструкції маховика і встановленню його разом з енергетично більш досконалим трифазним синхронним електродвигуном змінного струму забезпечує такі переваги:

- покращання енергетичних показників привода, підвищення його ККД та коефіцієнта потужності $\cos \phi$;
- зниження матеріалоемності маховика за рахунок складеної його конструкції, куди входять відносно легкі гнучкі та пружні елементи;
- безпечність при розриванні складеного маховика, який гальмується завдяки тертю зруйнованого витка стрічки по захисному кожуху;
- зниження витрат на ремонт витого маховика при розриві витка, який достатньо приклеїти або приварити до основної частини маховика;
- зменшення габаритних розмірів привода внаслідок відсутності клинопасової передачі. Це також підвищує ККД привода, виключає електризацію пасів та їх заміну після зношення.

Описаний привод може знайти широке використання в ковальсько-штампувальному устаткуванні для приведення в рух кривошипних пресів, горизонтально-кувальних та горизонтально-згинальних машин і ковальсько-штампувальних автоматів з маховичним приводом, коли штампувальна галузь промисловості України відродиться і почне працювати на повну потужність. Така науково-пошукова робота проводиться у рамках дослідницької діяльності гуртка винахідників СумДУ при активній участі в ній кращих студентів, друкується у збірнику наукових праць університету [12] і широко використовується у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Нарисна геометрія», «Інженерна графіка» та «Комп'ютерна графіка».

SUMMARY

THE PERSPECTIVE CONSTRUCTION OF THE FLYWHEEL'S DRIVE OF CRANK PUNCHING EQUIPMENT WITH THE COMPOSITE RESILIENT FLY-WHEEL

*V.S. Zaporozhchenko, A.V. Zaporozhchenko,
Sumy State University, Sumy*

The article is devoted to the improvement of the structure of the composite fly-wheel with resilient elements in the drive of stamping crank-type equipment and the consideration of the work prospects of such improved drive of crank-type machines.

Key words: *punching (stamping) equipment, crank press, crank machine, flywheel's drive, composite resilient fly-wheel, the flexible element, tape, wire, fibre, resilient element.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, Л.Ф. Керженцева и др.; под общ. ред. О.С. Комарова. – Минск: Новое знание, 2009. – 671 с.
2. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Ю.А. Бочаров. – М.: Машиностроение, 2008. – 480 с.
3. Порецкий С.В. Курс кузнечного дела. - Том 4. Машины кузнечного производства. Специальные приводные машины кузнечного производства / С.В. Порецкий. – Л.-М.: Госашметиздат, 1934. – 208 с.
4. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников, Е.Н. Складчиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.
5. Церна И.А. Электрооборудование машин кузнечно-прессового производства: учебное пособие / И.А. Церна, А.С. Пасхалов, А.В. Гунин. – М.: Мини-Тайп, 2008. – 128 с.
6. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов / Г.Б. Онищенко. – М: Академия ИЦ, 2008. – 288 с.
7. Запороженко В.С. Новая система включения механического преса / В.С. Запороженко, С.В. Пейль // Сборник научных трудов “Проблемы надежности и долговечности с/х машин”. – Киев: УМК ВО, 1992. – С. 107 – 110.
8. Запороженко В.С. Модернізація привода кривошипного штампувального обладнання / В.С. Запороженко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – №1. – С. 67 – 88.
9. Запороженко В.С. Автоматизоване проектування кривошипного безмуфтового преса з поворотним ексцентриком / В.С. Запороженко, П.О. Леус, А.В. Запороженко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2009. – №1. – С. 148 – 155.
10. Патент України № 30037, МПК В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В.С. Запороженко. – Заявлено 09.12.1997; Надруковано 15.11.2000, Бюл. №6-П, 2000.
11. А.с. 1824796 СССР, МКИ В30В 15/00. Привод кривошипного преса / В.С. Запороженко, А.Н. Загородний (СССР). – № 4936215/27; заявлено 14.05.91; зарегистр. 12.10.92.
12. Запороженко В.С. Удосконалення маховичного привода штампувального кривошипного устаткування / В.С. Запороженко, А.В. Запороженко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – №2. – С. 80 – 87.

Надійшла до редакції 2 січня 2011 р.